



TITLE:

# 吸込み管入口部に発生する液中渦 キャビテーション評価手法の構築( Abstract\_要旨)

AUTHOR(S):

江連, 俊樹

---

CITATION:

江連, 俊樹. 吸込み管入口部に発生する液中渦キャビテーション評価手法の構築. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-07-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19932>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2018-10-01に公開; 許諾条件により要約は2016-10-01に公開; 許諾条件により要旨は2016-08-01に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	江連 俊樹
論文題目	吸込み管入口部に発生する液中渦キャビテーション評価手法の構築		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、ナトリウム冷却高速炉体系にも適用可能な液中渦キャビテーション評価手法の構築を目的として、基礎的な水体系および高速炉模擬体系における実験ならびに渦モデルを用いた液中渦キャビテーション評価手法の提案と適用性の検討を実施した結果についてその成果を取り纏めたものであり、7章から構成されている。</p> <p>第1章は、序論であり、本研究の工学的な背景、目的および関連する研究の現状について述べた後、本論文の構成が述べられている。</p> <p>第2章では、単一吸込み管を有する円筒体系に発生する液中渦キャビテーションを対象として、液中渦キャビテーション現象の発生過程および渦構造を把握し、液中渦キャビテーションは局所の渦流れの流速分布およびそれに起因する渦中心減圧により支配されることを明らかにしている。具体的には、実験容器の底面壁上でキャビティが発生し、発生後は速やかに吸込み管入口に向かって成長することを可視化観察で明らかにしている。また、粒子画像流速（PIV）計測結果を用いた渦軸方向の渦中心圧力分布の計算結果から、渦中心圧力は吸込み管に向かって単調に増加することを示し、可視化観察結果との整合性を確認している。これらの結果から、液中渦キャビテーションは底面に存在する気泡核を始点として形成され、底面より上部の渦中心圧力が飽和条件を越えた準安定状態にあるため、底面壁上で一旦キャビティが発生すると吸込み管付近に向かって速やかに成長することを明らかにするとともに、渦中心の減圧量を評価することで、液中渦キャビテーション評価の可能性に見通しを得ている。</p> <p>第3章では、局所的な減圧量に影響する可能性がある物理量、特に動粘性係数の変化が液中渦キャビテーション発生に与える影響を検討した結果について述べている。具体的には、円筒体系の実験装置を用いて、水の温度を10℃から80℃まで変化させ、水の動粘性係数を変化させることで液中渦キャビテーションに対する流体粘性の影響を検討した結果、水温（動粘性係数）の影響に関して、低流速かつ低温の条件では、水温低下に伴う動粘性係数の増大によりキャビテーション発生が抑制されたが、高流速かつ高温の条件では、水温変化による顕著な影響は見られなかった。すなわち、渦流れが弱い程、また、動粘性係数が大きい程、キャビテーション発生に対する動粘性係数の影響が顕著に現れることを見出した。また、PIV計測による局所流速分布計測の結果から、渦周辺の循環に動粘性係数の影響は現れず、大局的な流れ場は相似であることを明らかにしている。また、動粘性係数の変化が液中渦キャビテーションに与える影響を評価するため、Navier-Stokes方程式を無次元化する際に、循環と動粘性係数の比である無次元循環<math>\Gamma^*</math>をスケーリングパラメータとして導入し、同時に、液中渦キャビテーションの消滅開始点におけるキャビテーション係数<math>\sigma_{\text{desinent}}</math>を用いることにより、異なる動粘性係数条件でのキャビテーション発生データを<math>\Gamma^*</math>と<math>\sigma_{\text{desinent}}</math>の関係としてスケーリングできることを明らかにしている。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	江連 俊樹
<p>第4章では、ナトリウム冷却大型高速炉の炉上部プレナムをモデル化した縮尺水実験体系を対象に、液中渦キャビテーション発生挙動および流速分布を同時計測により把握している。具体的には、ナトリウム冷却大型高速炉の炉上部プレナムを 1/22 縮尺でモデル化した実験装置を用いて、液中渦キャビテーションの発生挙動を把握した。吸込み管入口部に発生する液中渦キャビテーションについて、液中渦キャビテーション発生条件および流速分布を定量的に把握した。可視化実験の結果から、水温を変えた場合の液中渦キャビテーションの発生条件への影響については、円筒体系での結果とも整合する結果を得ている。また、循環の時間変化と液中渦キャビテーションの発生状況を比較したところ、循環が極大値を取る時刻付近で液中渦キャビテーションが発生していることを明らかにした。循環の時間平均値と液中渦キャビテーションの発生割合（YF）は相関を有しており、循環の増加に伴い YF も増加することを明らかにしている。これらの知見より、間欠的な液中渦キャビテーションの発生挙動は、循環の時間変化に起因するものであり、その評価のためには、局所的な渦流れ（循環）を考慮する必要がある、Burgers の渦モデル等を導入して局所の渦挙動を考慮することが液中渦の評価に有効であると提言している。</p> <p>第5章では、局所的な流速分布に対して、Burgers の渦モデルを適用した減圧量評価を行うことにより、液中渦キャビテーションを評価する手法を提案している。具体的には、軸対称 Navier-Stokes 方程式の厳密解の一つである Burgers の渦モデルから導出された渦中心減圧量評価式を、高速炉模擬体系における液中渦キャビテーション発生と局所流速分布の時間変化の実験結果に適用し、液中渦キャビテーションが Burgers モデルによる渦中心減圧量の評価値の極大となる時刻付近で発生することから、定性的には発生挙動の把握が可能であることを示している。すなわち、局所渦周囲の流速分布が得られれば、本研究で提案した渦モデルによる減圧量により、液中渦キャビテーションの評価が可能であるとの結論を得ている。しかし、渦中心減圧量の評価値は飽和条件と比較して 1 桁以上大きく、キャビテーション発生 of 定量判定法としての課題を指摘している。</p> <p>第6章では、第5章で提案した評価手法を実機評価に適用する際の課題として、過剰な減圧量評価値の補正、物性値の違いがキャビティ成長に与える影響の検討等を行い、将来的な課題を抽出している。具体的には、評価手法のナトリウム冷却炉への適用に向けて、考慮されるべき諸事項として乱流粘性係数の導入による減圧量の過大評価の補正法を提案している。さらに、水とナトリウムの物性値の違いが液中渦キャビテーションに与える影響について、Rayleigh-Plesset 方程式を無次元化して得られる特性時間を検討し、ナトリウム体系においても水体系と同様に圧力項が支配的となることを示すとともに、圧力項に対する熱物性値の影響は水とナトリウムで大差無いことを示している。</p> <p>第7章は総括結論であり、液中渦キャビテーションの発生・成長メカニズムを検討し、無次元循環と下降流速勾配による現象スケーリングが可能であることを示した上で、渦モデルによる渦中心減圧量評価に着目した液中渦キャビテーション評価手法を構築した成果を纏めている。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、ナトリウム冷却高速炉体系にも適用可能な液中渦キャビテーション評価手法の構築を目的として、基礎的な水体系および高速炉模擬体系における実験ならびに渦モデルを用いた液中渦キャビテーション評価手法の提案と適用性の検討を実施した結果についてその成果を取り纏めたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 液中渦キャビテーション現象の基本的なメカニズムとして、液中渦キャビテーションは局所の渦流れの流速分布と流速分布に起因する渦中心減圧に支配される現象であることを明らかにした。
2. キャビティは、試験体の壁面上で発生し、発生後、速やかに吸込み管入口に向かって成長する。この挙動は、速度分布計測から見積られた圧力分布とも整合的であることから、局所流速に基づいて渦中心の減圧量を評価することで、液中渦キャビテーションを評価可能になるとの見通しを示した。
3. 液中渦キャビテーション現象に影響を与える物理量として、作動流体の動粘性の変化が液中渦キャビテーション発生条件に与える影響について検討を行い、循環と動粘性係数の比(無次元循環)とキャビテーション係数による整理を提案した。
4. 液中渦キャビテーションは、作動流体の動粘性係数が比較的大きい条件においては、巨視的な圧力バランスを示す無次元量であるキャビテーション係数のみでのスケーリングが困難であるが、無次元循環を整理パラメータとして追加することで、粘性係数が比較的大きい条件も含めたスケーリングを可能とした。この無次元循環は、大規模な縮尺体系を用いた実証実験を行う際、装置サイズについて一つの目安を与えるものである。
5. 液中渦キャビテーション評価手法として、Burgers 渦モデルに基づいた減圧量評価を提案し、高速炉実機に相似な体系での実験で得られた速度分布に対して、提案した評価法を適用することで、液中渦キャビテーション発生挙動を定性的に捉えることが可能であること示すとともに、高速炉体系における液中渦キャビテーション予測に対する見通しを与えた。

以上のように、本論文は吸込み管入口部に発生する液中渦キャビテーションについて、発生時のメカニズムの検討、現象のスケーリングを行った上で、渦モデルによる渦中心減圧量評価に基づく評価手法を構築しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年5月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日： 2016 年 8月 1日以降